

面向云服务的直升机航电系统架构研究



熊智勇,刘青春

中国航空无线电电子研究所,上海 200233

摘要:为满足复杂环境下多样化任务需求,直升机正在向网络化、体系化和智能化发展,对航电系统的开放性和跨平台互操作能力提出了更高要求。本文分析了直升机航电系统服务化发展需求,提出了面向云服务的直升机航电系统架构,并探讨了云服务管理、资源云化与共享管理等技术,通过统一标准接口提升系统软硬件可组合及可扩展能力。

关键词:直升机;面向服务;航空电子;开放式架构;软件定义

中图分类号:V249.1

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2023.09.009

随着低空环境复杂性增加,直升机综合任务能力和生存能力面临新的挑战。为有效应对威胁,世界主要军事强国一方面大力发展新构型直升机、采用人工智能技术升级现役直升机^[1];另一方面不断创新作战样式,如有人机/无人机协同作战、作战云、多域战^[2-3]等。未来直升机将与其他协同平台“无缝”链接,共享态势和资源,实施分布式协同作战,这对航空电子(简称航电)系统的开放性和跨平台互操作能力提出了更高要求。

航电系统架构是一个系统组织概念,包括系统的组成、功能、连接拓扑关系、结构层次、软硬件接口、运行与维护准则等内容^[4],是构建航电系统的基础。自20世纪90年代开始,美国先后开展了旋翼机开放式系统航空电子(ROSA)计划、通用航空电子结构系统(CAAS)、有人机/无人机通用系统结构计划(MCAP)等研究,采用开放式软硬件接口标准提高系统灵活扩展能力、降低全生命周期成本^[5-6],并分别在“科曼奇”“黑鹰”“阿帕奇”等直升机航电系统研制中应用。面向未来发展,美国陆军正在构建“空中机动云”,基于云技术实现战场资源整合管控,并在未来垂直起降计划(FVL)项目中发展联合通用架构(JCA),通过定义标准化的任务系统、子系统和组件,以期最大限度规范航空电子设备设计并实现软硬件跨项目重用^[7]。

本文重点对直升机航电系统服务化、信息处理一体

化、应用APP化等需求进行分析,提出了面向云服务的航电系统架构,分析了基于该架构的航电系统任务管理、服务管理和资源管理等技术,为后续该领域技术发展提供参考。

1 直升机航电系统需求分析

(1) 采用服务化设计,支持直升机跨域协同作战

2013年,美国空军首次将“云”引入作战领域,提出“作战云”概念,主要依托“云计算”技术将陆、海、空、天、网、电多维战场资源进行整合,构建柔性杀伤链^[8-9]。直升机飞行高度低、载重量小,传感器探测能力及武器打击能力受限,通过与其他平台协同共享态势和资源,提高任务能力和生存能力。以有人直升机与无人机协同作战为例,有人直升机控制无人机执行侦察、目标打击等任务,自身不必携带雷达、武器等任务载荷,从而在尽量不增加自身设备重量的情况下实现任务目标。直升机云协同作战模式如图1所示。

航电系统服务化是指把航电系统中的计算、存储、探测、识别、打击、指控等各个业务进行抽象,并以服务为单位进行开发和管理的方法。通过服务化设计可做到软硬件之间、软件模块之间解耦,可独立开发、部署和灵活组合使用,易于维护,提高系统敏捷构建及互操作能力。

(2) 采用软件定义方式实现信息处理一体化,支撑直

收稿日期: 2023-05-13; 退修日期: 2023-07-11; 录用日期: 2023-08-10

引用格式: Xiong Zhiyong, Liu Qingchun. Research on the architecture of helicopter avionics system for cloud services[J]. Aeronautical Science & Technology, 2023, 34(09): 80-86. 熊智勇, 刘青春. 面向云服务的直升机航电系统架构研究[J]. 航空科学技术, 2023, 34(09): 80-86.

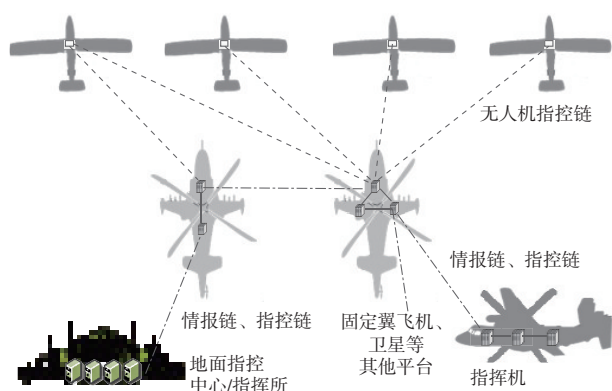


图1 云协同作战模式

Fig.1 The Mode of cloud collaborative operations

直升机航电系统功能灵活扩展

“软件定义”概念最早在1985年由互联网工程任务组提出,通过为基础硬件设施构建虚拟化软件层及提供API接口供上层软件调用,从而在不改变硬件的前提下实现新增功能,以适应多样性需求^[10]。直升机用途广、协同样式多,航电系统升级改进较频繁,面临增加重量和成本等系列产品问题。随着航空电子领域大规模集成器件、微系统等技术的发展,软件无线电、软件定义雷达及软件定义航电^[11-12]等概念不断发展,大大提高了系统的灵活性。

针对直升机航电系统多样化业务处理需求,通过软件定义方式将硬件资源进行抽象和规范化封装,形成虚拟资源池;通过分层设计使上层软件与底层资源深度解耦;根据任务处理时间及安全性、可靠性等要求差异,通过动态配置网络及处理资源满足信息传输及处理需求,实现资源按需调配^[12]。直升机航电系统软件定义及一体化处理示意图如图2所示。

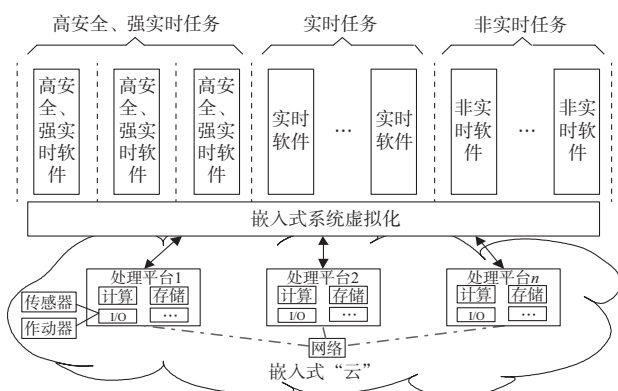


图2 航电系统分布式一体化处理示意图

Fig.2 Schematic diagram of distributed integrated processing in avionics system

(3) 采用应用APP化设计,支持飞行员“一键式”高效操作

应用APP的概念来自移动终端,是指为满足系统任务或操作要求而由系统提供的各项能力的使用。每个应用有明确的业务边界,按照一定规则调用相关服务来执行,从而简化用户操作,提高系统效率。直升机结构及气动特性复杂,飞行员驾驶和操纵难度极高。为减轻操作负荷,现代飞机座舱向虚拟座舱系统、飞行员辅助系统、机组自动化系统三个方向发展^[13],沉浸式交互、目标识别等人工智能技术逐步应用^[14],但是在执行任务过程中,飞行员仍然要进行大量干预。未来面向有人直升机/无人机混合编组及直升机可选有人/无人驾驶模式需求,需进一步提升航电系统智能化水平。

针对直升机不同任务需求及场景,将航电乃至机载电子系统的探测、识别、打击、飞行控制、系统管理等能力进行整合,并封装成不同的应用APP。根据直升机的任务需求和特点灵活加载相关APP,当飞行员启动相应的APP后,自动整合相关资源和服务,完成自动返航、编队防撞等相关操作。

2 面向云服务的直升机航电系统架构设计

2.1 总体架构设计

采用分级分布、灵活可组的设计理念开展直升机航电系统架构设计。根据航电系统不同业务差异,按照应用、服务、资源等进行分层分级,实现软硬件纵向解耦。分布式是未来航电系统的基本特征,将软硬件设计成通用组件,灵活部署在多架直升机上;通过开放式标准接口和服务化管理机制将软硬件按需组合使用,从而执行不同任务。系统由应用层、服务层、网络层、接入层和资源层组成^[15],如图3所示。

(1) 应用层

由面向不同场景的系列应用APP组成,按照一定规则调用相关服务执行任务。以协同打击APP为例,当飞行员启动该应用并设置相关参数后,该APP根据协同平台部署的资源及服务情况自动进行任务分解和分配,分析所需的航路规划、态势感知、障碍物告警等服务及关联的资源,动态调用相关服务及资源执行任务。

(2) 服务层

由实现航电系统具体功能的服务组件组成,用来响应应用APP要求,通过优化组织各类服务和底层资源,提供动态、弹性的具体业务处理能力,支撑应用执行。

(3) 网络层

由网络组件组成,包括传统机载总线网络协议组件、数据链协议组件及网络配置、网络监控、网络传输管理等组

件,支持数据按需交互。

(4) 接入层

由接入组件组成,包括资源抽象和封装、接入侦听、访问控制、安全管理等组件,为计算、存储、通信、探测、打击等资源提供接入系统的能力。

(5) 资源层

主要包括计算器、存储器、通信网络终端设备、I/O 接口设备等物理资源,提供探测、计算、存储等基本能力。



图3 面向云服务的航空电子架构框架

Fig.3 Avionics architecture framework for cloud services

2.2 应用APP设计

面向典型应用场景及任务需求,通过应用APP设计将信息显示、飞行员操作、服务组件运行、信息输入/输出等进行有序关联,飞行员只要简单输入指令及参数便可启动APP,从而减少中间过程的操作。另外,通过APP化设计可以将大规模、紧耦合的系统软件进行模块化组织,提高运行及保障维护的便捷性。

根据应用范围不同,可将应用APP分为跨平台协同应用(如协同打击、无人机指控等)、单平台任务类应用(如区域侦察、低空突防等)、单平台飞行类应用(如自动返航、自动着陆等)及保障维护应用等,通过调用远程或本机服务执行任务。

2.3 云服务组件设计

参考云计算领域的基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)和软件即服务(SaaS)三种服务方式,可分别将航电系统资源、软件基础服务平台及系列功能组件封装成服务,以便于查询和使用。

(1) 资源服务组件

将探测传感器、处理器、武器等物理资源进行抽象和封装,提供服务接口及基础能力。根据航空电子系统资源的种类及使用范围不同,资源可分为体系资源、本机公用资源和私有资源。其中,体系资源主要是指可被其他平台远程访问或控制的物理资源,如探测传感器;本机公用资源通过虚拟

化、时间分区及空间分区等机制,为本机业务处理提供可复用资源,如通用处理资源;私有资源受安全性、可靠性等制约,仅对特定的服务开放访问,如飞行管理资源。

(2) 软件基础服务平台

软件基础服务平台,即开放式软件运行环境,由服务管理组件、基础管理组件、网络组件及接入组件组成。通过服务管理组件实现服务加载、注册、动态发现管理;通过基础管理组件实现系统数据分发、数据记录、日志管理等;通过网络组件实现网络数据动态路由;通过接入组件实现资源动态发现、识别、身份认证及注册管理等。软件基础服务平台与直升机业务无关,通用性比较强,可根据不同直升机航电系统特点按需裁剪。软件基础服务平台组成框架如图4所示。

(3) 业务领域服务组件

面向直升机航电系统目标探测、态势感知、任务规划、电子对抗、目标打击、飞行管理等具体业务,对相关功能进行抽象和服务化封装,对外提供标准化的服务接口,如导航定位服务、目标识别服务和态势分析服务等。

(4) 服务组件的规范化设计

在开展服务组件设计时,可参考未来机载能力环境(FACE)标准提出的输入输出服务段(IOSS)、平台特定服务段(PSSS)、传输服务段(TSS)和可移植组件段(PCS)等接口及共享数据模型开展设计,实现软硬件深度解耦和接口封装等,提高组件的可重用性^[16],减少系统集成成本。

此外,需要从灵活性、可重用性及关键性能指标要求等多方面进行综合权衡,设计颗粒度合理的服务,明确服务之间的依赖关系,并为每个服务组件设置优先级和访问权限。优先级表示在调用同一服务组件时,优先级高的先调用;而访问权限则限制了与当前服务组件无关的应用软件不能访问该服务组件。

2.4 模块化硬件资源设计

受直升机设备安装空间、重量、功耗受限等因素影响,直升机航电系统硬件宜采用分布式综合模块化设计,需要对硬件资源的电气接口(如连接器选型、连接器信号定义、总线接口类型、负载能力等)、电源接口(如电压、电流、功耗等)、数据接口(如数据传输协议、消息格式定义、控制命令、资源状态等)、初始化及状态监控等内容进行规范化定义,从而提升硬件资源跨平台复用能力。

3 面向云服务的直升机航电系统运行管理

3.1 运行管理框架

面向直升机协同任务需求,需要从任务管理、服务管

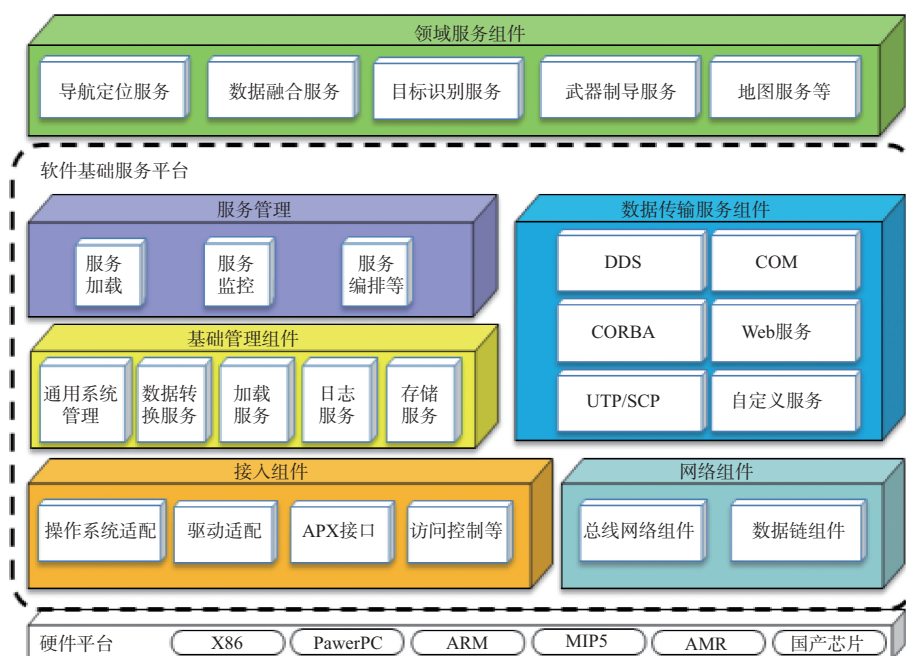


图4 软件基础服务平台组成框架

Fig.4 Composition framework of software basic service platform

理、资源管理三个维度建立一体化的动态管理机制。首先，在作战任务层面，通过对任务目标、约束、作战节点进行分析，制订任务计划，包括所需的应用APP、服务能力及资源等，并把计划下发给协同平台，各平台分别加载相关应用及服务组件；其次，面向应用APP运行需求，在战术体系内动态发布服务请求，并对各作战节点提供的服务进行编排、组合、监控等；最后，根据服务要求、服务与资源的相关性动态管理资源，如调整传感器工作模式、重分配存处理资源等。系统管理由任务管理器、服务管理器和资源管理器实现，管理框架如图5所示。

3.2 任务管理器

任务管理器根据加载的协同作战任务，自动完成任务分析和分解，确定任务约束条件、具体过程、结束标志以及所需的应用APP、服务及资源等，生成最佳的可选方案辅助飞行员进行战术决策，并通过任务调度器控制系统各单元来自动完成任务作业。当发生突发事件等时，系统需要对事件的危害进行评估，并确定是否中断任务或转到其他任务模式，完成任务计划动态调整。

3.3 服务管理器

服务管理器采用支持资源融合与优化共享的服务编排与优化方案，对不同直升机及其航电系统提供的服务进行统一管理。服务管理器主要由服务规划模块、控制模块、监控模块和分析模块等组成。

(1) 服务规划模块

根据应用APP关联的服务组件、期望的QoS数据以及应用中每个独立模块的技术需求，调用发现API获取不同服务的功能和相应特性，制订服务部署计划及服务编排方案。

(2) 服务控制模块

实现服务组件的多节点部署，其中部署组件服从由规划模块生成的编排规范，通过服务部署API，将各服务组件部署在目标平台上。

(3) 服务监控模块

监控云服务在运行过程中是否出现异常或偏离了预期目标，若监测到需求未被满足，则触发服务分析模块重新生成配置建议。

(4) 服务分析模块

对服务需求和服务运行情况进行综合分析，生成新的服务配置建议并传递给服务规划模块，以形成一个新的部署协调方案。

直升机航电系统通过分布在不同平台上的服务组合优选执行协同任务，服务组合优选的流程可分为4种基本拓扑结构：串行拓扑结构、并行拓扑结构、选择拓扑结构以及循环拓扑结构等，如图6所示。

3.4 资源管理器

资源管理器通过负载均衡、并发访问控制等机制合理分配资源，使资源能提供高效的服务，提高任务效率和性能^[17]。

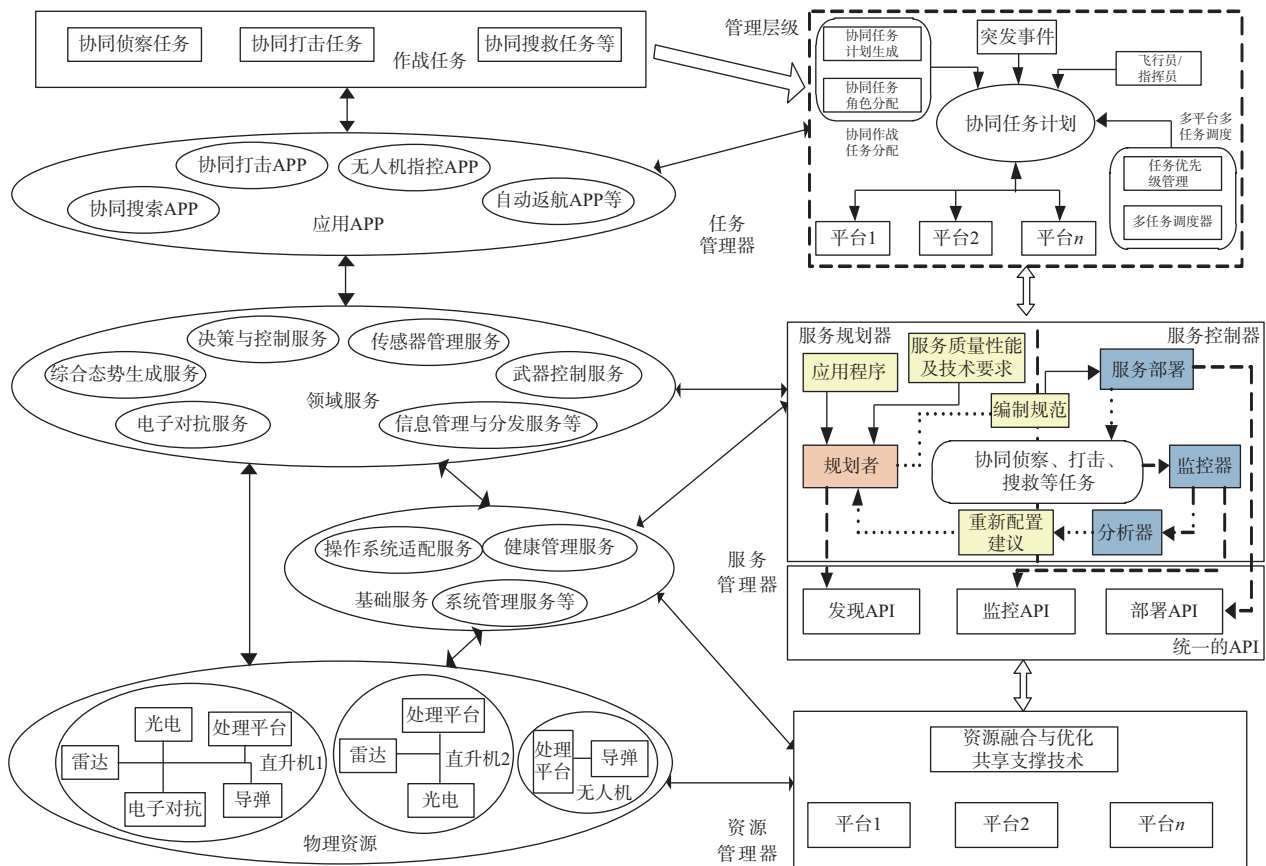


图5 面向云服务的航电系统管理框架

Fig.5 Service-oriented avionics system management framework

资源管理器主要由状态监控模块、请求队列管理模块、并发请求控制与调度模块以及动态分配与管理模块组成。具体功能有以下几个方面。

(1) 状态监控模块主要负责对物理资源及运行其上的服务状态进行监控,通过相应的管理与监控组件采集每个资源配额和使用情况,包括资源的使用频率、所处状态以及负载量等。

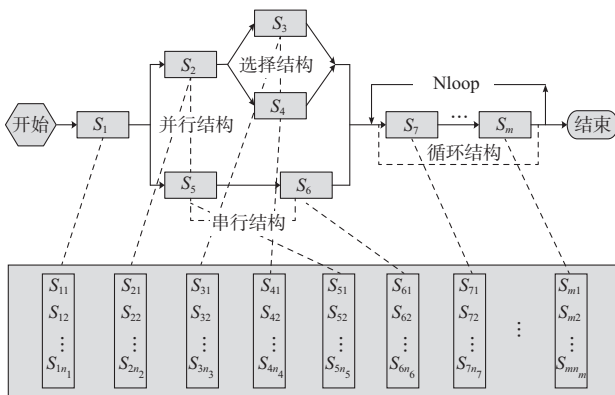


图6 服务组合流程模型

Fig.6 Model of service composition process

(2) 请求队列管理模块负责对并发请求进行缓存和管理,实现基于优先级的队列模式,通过对不同服务约定不同优先级的方式保证服务质量,通过消息队列缓存多优先级服务请求,从而避免因瞬时流量爆发而引起服务失败等问题。

(3) 并发请求控制与调度模块主要负责对大规模并发访问请求进行控制和调度。消息队列按照特定的优先级策略获取服务请求,并根据资源状态信息及本次服务请求预占用资源估计情况进行综合判定,按照特定的负载均衡策略将该条服务请求转发给相应的物理资源,物理资源接收到请求后进行处理,并将结果返回给服务请求者。

(4) 动态分配与管理模块负责对服务具体执行资源的调度,根据服务监控数据以及请求消息队列中的请求数量,按照资源按需动态分配策略给出资源的数量及配额,然后调度资源。

(5) 为保证在通信带宽受限时系统信息共享和协作顺利,各平台节点之间采用统一、精简的通信数据和指令。同时,建立资源状态反馈机制,动态分配与管理模块根据反馈

结果重新协调资源调度计划,以得到最大收益。全局资源调度算法主要包括遗传算法、人工蜂群算法等。

全局资源按需动态分配管理框架如图7所示。

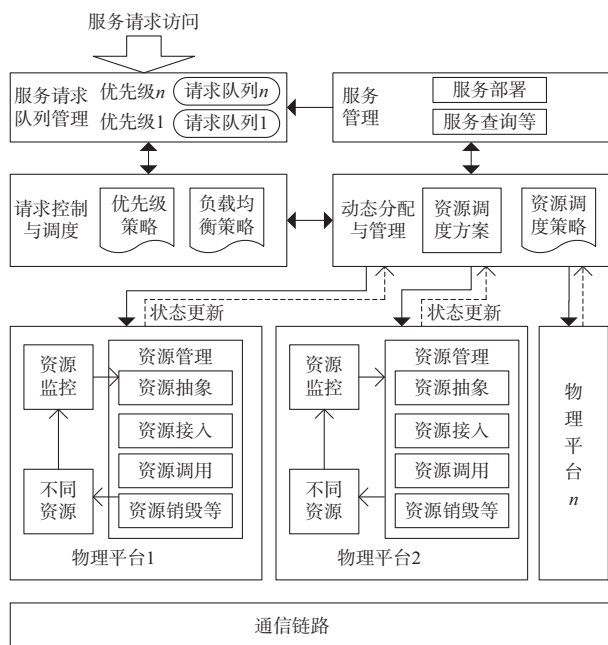


图7 资源按需动态分配管理框架

Fig.7 A framework for dynamic allocation and management of resources on demand

4 结束语

随着航空科技的发展及直升机任务能力需求的不断变化,直升机开放式航空电子系统架构的概念和内涵也在不断发展,从单平台资源综合、功能综合到跨平台能力柔性聚合。本文采用面向服务思想,从应用可加载、服务可组合、资源全局调配等维度提出了面向云服务的直升机航电系统架构方案,现阶段将开展相关技术集成验证。

参考文献

- [1] 邓景辉.直升机技术发展及展望[J].航空科学技术,2021,32(1):10-16.
Deng Jinghui.Development and prospect of helicopter technology[J].Aeronautical Science & Technology,2021,32(1): 10-16.
(in Chinese)
- [2] 罗雪丰,雷咏春,范俊.国外有人直升机与无人机协同研究综述[J].直升机技术,2018 (3):61-67.
Luo Xuefeng,Lei Yongchun,Fan Jun.Research review of foreign manned helicopter and unmanned aerial vehicle cooperation

tion[J]. Helicopter Technique, 2018 (3):61-67. (in Chinese)

- [3] 张剑龙. 美军多域战研究及对我军直升机装备发展的启示[J]. 直升机技术, 2019 (2):1-5.
Zhang Jianlong. The research of US army multi-domain operation and inspiration to the development of PLA helicopter equipment[J]. Helicopter Technique, 2019 (2):1-5. (in Chinese)
- [4] 王金岩, 周庆, 刘青春, 等. HB20607—2021: 面向服务的开放式航空电子系统架构通用要求[S]. 北京: 中国航空综合技术研究所, 2021.
Wang Jinyan, Zhou Qing, Liu Qingchun, et al. HB20607—2021: General requirements for service-oriented open avionics system architecture[S]. Beijing: China Aviation Comprehensive Technology Research Institute, 2021. (in Chinese)
- [5] Paul C, John B. The U.S. army's common avionics architecture system (CAAS) product line: A case study[D]. New York: Carnegie Mellon University, 2005.
- [6] Donald W. Manned/unmanned common architecture program (MCAP): A review[C]//Proceedings of the 22nd Conference on Digital Avionics Systems, 2003: 1-7.
- [7] Scott W, Thomas D B, William K, et al. Joint common architecture demonstration lessons learned-sikorsky/boeing perspective [C]//Proceedings of American Helicopter Society International 71st Annual Forum, 2015:1-10.
- [8] 刘子骞. 云协同作战分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2019, 180(6):119-120.
Liu Zi'ao. Analysis of cloud cooperative operations[J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2019, 180(6): 119-120. (in Chinese)
- [9] 赵仁君, 张安, 孙海洋. 基于 SVC 的云服务化作战资源聚类重组研究[M]. 北京: 电子工业出版社, 2016.
Zhao Renjun, Zhang An, Sun Haiyang. Research on clustering and reorganization of cloud serviced combat resources based on SVC[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2016. (in Chinese)
- [10] 陈峰, 赵玉林, 梅发国, 等. 基于软件定义的指挥信息系统设计思考[J]. 中国电子科学院研究学报, 2021, 16(3):232-238.
Chen Feng, Zhao Yulin, Mei Faguo, et al. Thinking of command information system design based on software defined technology[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2021, 16(3):232-238. (in Chinese)

- [11] 赵靖,黄松华.软件定义网络技术及其军事应用[J].指挥信息系统与技术,2016,7(2):73-77.
Zhao Jing,Huang Songhua.Software defined network technology and its military application[J].Command Information System and Technology, 2016, 7(2):73-77. (in Chinese)
- [12] Dova V H. Software-defined avionics and mission systems in future vertical lift aircraft[R]. New York: Carnegie Mellon University,2015.
- [13] 吴佳驹,苏幸君.飞机智能座舱发展研究[J].航空电子技术, 2022,53(1):8-14.
Wu Jiaju,Su Xingjun. Research on the development of aircraft intelligent cockpit[J]. Avionics Technology, 2022, 53(1): 8-14. (in Chinese)
- [14] 吕少杰,杨岩,韩振飞.军用直升机智能自主控制技术发展研究[J].航空科学技术,2020,31(10):36-40.
Lyu Shaojie, Yang Yan, Han Zhenfei. Research on the development of military helicopter intelligent and autonomous control technology[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(10):36-40. (in Chinese)
- [15] 周庆,邓平煜,刘青春,等.面向服务的先进航空电子系统架构研究[J].航空电子技术, 2018,49(4):1-7.
Zhou Qing, Deng Pingyu, Liu Qingchun, et al. Research on service-oriented advanced avionics architecture[J]. Avionics Technology, 2018, 49(4):1-7. (in Chinese)
- [16] 李涛.机载服务化系统软件设计[J].指挥信息系统与技术, 2017,8(6):50-54.
Li Tao. Airborne service system software design[J]. Command Information System and Technology, 2017, 8(6): 50-54.(in Chinese)
- [17] 鲁俊,何锋,熊华钢.航空电子云系统架构与网络[J].航空电子技术,2017,48(3):1-9.
Lu Jun, He feng, Xiong Huagang. System and network architecture of avionics cloud[J].Avionics Technology ,2017, 48(3): 1-9. (in Chinese)

Research on the Architecture of Helicopter Avionics System for Cloud Services

Xiong Zhiyong, Liu Qingchun

Chinese National Aeronautical Radio Electronics Research Institute, Shanghai 200233, China

Abstract: In order to meet the requirements of diversified tasks in complex environments, helicopter avionics systems are developing towards networking, systematization and intelligence. Helicopters have put forward higher requirements for the openness and cross platform interoperability of avionics systems. This paper analyzes the service-oriented development needs of helicopter avionics systems, with the goal of improving collaborative task capabilities and support maintenance capabilities. It proposes a cloud service oriented architecture scheme for helicopter avionics systems, explores technologies such as service management, resource cloudization, and shared management, which can improve the composability and scalability of system software and hardware through unified standard interfaces.

Key Words: helicopter; service oriented; avionics; open architecture; software definition